

ARTÍCULO

LA NECESIDAD DE ESTUDIAR LAS INFILTRACIONES: ESTUDIO DE CASO EN VIVIENDAS SOCIALES DE LA URBANIZACIÓN ZABALGANA (VITORIA)

Alberto Meiss y Jesús Feijó Muñoz

The need to study air leakages: case study in social housing of Zabalzana development (Vitoria)

Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea
Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña
eISSN 2173-6723
www.boletinacademico.com
Número 3 (2013)
Páginas 57-64

Fecha de recepción 16.10.2012
Fecha de aceptación 25.01.2013

Resumen

La diferencia entre ventilación e infiltraciones parece clara: la primera hace referencia a una entrada controlada de aire a través de las aberturas, y la segunda a una entrada caótica a través de los intersticios de la envolvente arquitectónica, y que depende de las condiciones exteriores de viento y temperatura.

Pero la normativa española no hace mención de esta realidad, excepto en las carpinterías, de manera que el caudal de ventilación necesario se hace sobre modelos de cerramientos estancos, con la consecuencia que las infiltraciones provoquen problemas de sobreventilación, corrientes de aire y descontrol de la calidad del aire interior.

Abstract

The difference between ventilation and air leakages seems clear: ventilation refers to a controlled air inlet through openings, meanwhile air leakages cause a chaotic inlet across gaps of the building enclosure, which depends on external conditions of wind and temperature.

But the Spanish Building Code makes no mention to this reality, except in frames, so ventilation is calculated over perfect airtight models; it brings as a consequence that the air leakages cause problems of over-ventilation, drafts and a lack of control on IAQ.

Palabras clave

Infiltraciones, Hermeticidad, Presurización por ventilador, Área de infiltración, Ventilación

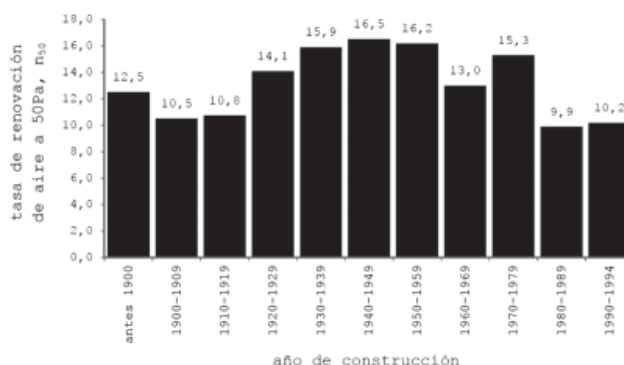
Keywords

Air leakage, Airtightness, Fan pressurization, Leakage area, Ventilation





1 Ramón Martínez de Lecea Saracibar y Juan Adrián Bueno Agero, 161 Viviendas Sociales en Zabalgana 161 (A-36), Vitoria/Gasteiz
2 Tasa n_{50} según ensayos en viviendas del Reino Unido



INTRODUCCIÓN

De manera general, la calidad del aire en ambientes interiores es un componente esencial para el bienestar de sus ocupantes, sobre todo si consideramos que en los países industrializados las personas pasan más del 90% de su tiempo dentro de recintos cerrados. Por ello, los usuarios están expuestos a una serie de enfermedades relacionadas con el edificio (contagios por transmisión entre humanos, reacciones de hipersensibilidad a hongos o bacterias, exposición a contaminantes y productos tóxicos) que se controlan estableciendo un caudal de ventilación adecuado. El proceso de ventilar incluye aportar un caudal suficiente de aire exterior y expulsar el viciado a través de los cerramientos, hacer circular el aire entrante y prevenir la contaminación interior.

Históricamente, este proceso se resolvía a través de los intersticios presentes en todas las soluciones constructivas, lo que las hacía particularmente permeables, aportando un caudal de aire varias veces superior a los mínimos necesarios y evitando instalar un sistema específico de ventilación.

Cuando, por razones energéticas y medioambientales, se decidió intervenir proyectualmente para garantizar la estanqueidad de los cerramientos, se vio la necesidad de prever sistemas de ventilación para cubrir esas necesidades mínimas de renovación del aire interior. Sin embargo, la solución generalista presente en la normativa vigente no contempla la existencia de inevitables infiltraciones, que coexisten con los flujos

controlados de ventilación, afectando al confort interior del usuario y al consumo energético del edificio.

Una aplicación práctica de estos supuestos se manifiesta en los ensayos realizados en una promoción de vivienda social de reciente construcción en la urbanización Zabalgana (Vitoria/Gasteiz) (Fig. 01).

DINÁMICA DE LA ENTRADA DE AIRE

La entrada de aire exterior al interior de un local se fundamenta en un diferencial de presiones. Para poder cuantificar su caudal es necesario despejar dos incógnitas: el gradiente de presiones y la caída de presión en el recorrido que realiza el aire al atravesar el cerramiento.

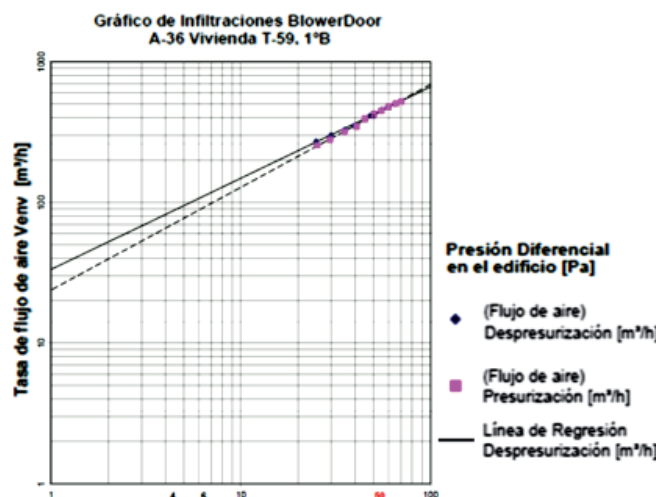
El gradiente de presiones es el resultado del efecto combinado de dos procesos simultáneos: una convección forzada (de origen natural –viento– o artificial –ventiladores mecánicos–) y una convección natural (diferencial de densidades por efecto de las distintas temperaturas a ambos lados del cerramiento). Este flujo es virtualmente independiente del posible movimiento del aire interior, por lo que prácticamente todos los modelos de estudio consideran que el aire interior se encuentra en reposo (equilibrio estático).

Respecto al recorrido del aire a través del cerramiento, éste puede hacerse utilizando aberturas específicas u otras creadas a partir de defectos constructivos (grietas, fisuras, cámaras, etc.), que transforman el carácter del flujo de aire entrante de laminar a turbulento.

	Fecha construcción viviendas ensayadas	Número viviendas ensayadas	q ₅₀ (m³/h·m²)	n ₅₀ media (h⁻¹)
Standard Passivhaus				≤ 0,6
Alemania	años '00	13 ⁴	–	1,4
Alemania (VALOR NORMATIVO EN VIGOR)				≤ 1,5
Finlandia	años '00	70 ⁵	3,5	3,4
Estonia	años '00	32 ⁶	4,2	4,9
Suecia (VALOR NORMATIVO EN VIGOR)				≤ 2,9
Bélgica	años '00	18 ⁴	–	5,0
Bélgica (VALOR NORMATIVO EN VIGOR)				≤ 3,0
Reino Unido	años '00	99 ²	9,2	10,6
Reino Unido (VALOR NORMATIVO EN VIGOR)				≤ 10
Francia	años '00	317 ⁴	–	3,5
Francia (VALOR NORMATIVO EN VIGOR)				≤ 11,0
Italia	años '00	7 ⁷	4,7	5,5
Grecia	años '00	20 ⁸	–	6,8

3 Viviendas proyectadas en varios países europeos entre los años 2000 y 2009, y normativa relativa a infiltraciones actualmente en vigor

4 Relación entre el caudal circulante y la presión del ensayo de presurización por ventilador



VENTILACIÓN O INFILTRACIÓN

Hablamos de *ventilación* cuando la entrada de aire a través de aberturas de admisión se hace de manera controlada, pudiéndose intervenir sobre su magnitud y difusión en cada uno de los locales. Sin embargo, la presencia de *infiltraciones* implica un factor caótico en dicha entrada de aire, que depende de cómo sean las condiciones ambientales exteriores de viento y temperatura.

Sin embargo, la normativa española no hace mención de esta realidad, excepto en lo que se refiere a la limitación en la permeabilidad de las carpinterías. Esto provoca que el caudal de ventilación necesario se haga sobre modelos de cerramientos estancos, con la consecuencia real de que las inevitables infiltraciones provoquen problemas de sobreventilación (derroche energético), corrientes de aire molestas (*discomfort* térmico y ambiental) e, incluso, descontrol en la calidad del aire interior (por la proliferación de moho y hongos en el interior de los cerramientos y su posible difusión por el interior de los locales).

Otros países —pensamos en EEUU y Europa Septentrional— llevan años estudiando las importantes repercusiones energéticas de las infiltraciones: Bélgica y Alemania estimaron que la permeabilidad de los cerramientos determina aproximadamente el 10% del comportamiento energético del edificio, de manera que la mejora prevista en la estanqueidad es similar a la que se obtendría con la instalación de colectores solares para satisfacer todas las necesidades térmicas del

edificio¹. Estudios similares desarrollados en Suecia confirman que las pérdidas energéticas achacables a infiltraciones pueden superar a las causadas por transmisión en los cerramientos².

CUANTIFICAR LAS INFILTRACIONES

La adopción de criterios uniformes en la realización de los ensayos de presurización (EN 13829 e ISO 9972) permite comparar los resultados obtenidos y requisitos exigidos en viviendas de diferentes países, cuyos parámetros principales son:

- n_{50} (h⁻¹) = tasa de renovación del aire a una presión de 50 Pa.
- q_{50} (m³/(h·m²)) = permeabilidad al aire de los cerramientos a una presión de 50 Pa.

A partir de estas referencias, los países desarrollados han estudiado la realidad de su parque residencial (Fig. 02)³, promoviendo la construcción de viviendas experimentales en la primera década del siglo XXI y endureciendo la normativa referida a la estanqueidad de los cerramientos⁴(Fig. 03), con un horizonte legislativo en los valores exigibles al estándar Passivhaus ($n_{50} = 0,6$ h⁻¹), tanto en obra nueva como en rehabilitación de viviendas.

ENSAYO DE PRESURIZACIÓN POR VENTILADOR

El procedimiento consiste en crear un diferencial de presiones estacionario en el interior del volumen a ensayar respecto a la atmósfera del exterior, midiéndose



5 Ejemplo de uso de la termografía infrarroja para localizar las infiltraciones

el flujo de aire que circula a través de un ventilador en un rango de presiones determinadas (Fig. 04).

Esta relación se adapta a una ley de potencias que tiene la forma:

$$Q = C \cdot (\Delta P)^n$$

donde C es el coeficiente de flujo y n es el exponente de presión. Este valor se encuentra normalmente cercano a $n = 0,65$, dentro de un intervalo $0,5 \leq n \leq 1,0$ (dependiendo si el flujo adquiere características turbulentas o laminares).

La presión convencionalmente escogida es 50 Pa. Lo positivo de este valor es que es lo suficientemente bajo como para que los ventiladores permitan ensayar el volumen de aire contenido en la mayoría de las viviendas, y lo suficientemente elevado como para no estar condicionado por influencias climáticas⁴ (hasta una velocidad del viento = 6 m/s).

Así, el ensayo es muy apropiado para medir la hermeticidad de la envolvente arquitectónica, pudiéndose cuantificar la permeabilidad de los cerramientos, q_{50} , y la superficie de filtración equivalente.

Sin embargo, el caudal a 50 Pa no es un valor representativo que permita extrapolar directamente a renovaciones de aire por la acción de las condiciones ambientales, dado que el gradiente medio real entre caras del cerramiento está comprendido en un rango 1 a 4 Pa. Por otro lado, no es posible una medición fiable

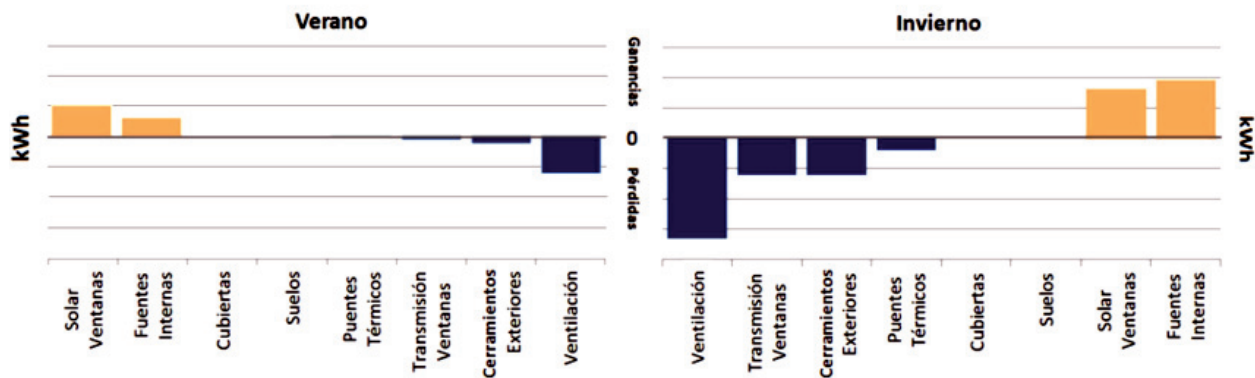
del flujo del aire a tan baja (y variable) presión natural, por lo que existe una especie de regla práctica⁵ (que requiere todavía un mayor grado de estudio) que permite relacionar los datos del ensayo con la tasa anual de infiltración:

$$\text{tasa anual de infiltración (h}^{-1}\text{)} = n_{50}/20$$

Antes de iniciar el ensayo, es conveniente detectar los focos de infiltración para documentar y facilitar un posterior sellado: el proceso consiste en crear una depresión elevada (por ejemplo, 90 Pa) durante un período de tiempo que permita la estabilización del flujo y la acción térmica del aire infiltrado sobre los puntos de entrada. El método más sencillo para localizar las filtraciones es el uso de la termografía infrarroja (Fig. 05).

REPERCUSIÓN ENERGÉTICA

Cuando se realiza el estudio de la limitación de la demanda energética (según el método prestacional del DB-HE1), el programa LIDER demanda un determinado número de renovaciones por hora. La configuración del programa establece que su número será constante e igual al establecido según el DB-HS3, excepto en régimen de verano (junio, julio, agosto y septiembre), entre las 24:00 y 8:00 h., donde se aprovecha el enfriamiento nocturno por la apertura de ventanas (con un caudal equivalente a 4 renovaciones por hora). Esta configuración supone una tasa nula de infiltraciones, con una distribución de demandas habitual según los distintos elementos constructivos (Fig. 06).



6 Repercusión energética de la ventilación (según LIDER) en vivienda de la urbanización Zabalgana

A partir de diversos ensayos de presurización realizados en una vivienda en la Urbanización Zabalgana A-36 de Vitoria, se pudieron establecer los valores $n_{50} = 2,6 \text{ h}^{-1}$ y $q_{50} = 1,8 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$; se comprueba que se trata de viviendas con un buen proyecto y control de obra, por lo que los valores están muy acotados.

Aún así, la repercusión energética varía si se incorpora el caudal aportado a lo largo del año por las infiltraciones (utilizando la aproximación de la tasa anual de infiltración $= 2,6/20 = 0,13 \text{ h}^{-1}$) (Fig. 07).

Este análisis concuerda con otros similares realizados en Suecia (Fig. 08)⁶ o en Francia⁷, donde se ha cuantificado que la energía desperdiciada debido a la permeabilidad de los cerramientos varía entre 2 y 5 kWh/m²/año por cada unidad adicional de n_{50} (pérdidas de calor en invierno).

LIMITACIONES DEL ENSAYO DE PRESURIZACIÓN POR VENTILADOR

El procedimiento del ensayo se adapta particularmente bien al estudio del edificio en su conjunto con un único volumen total contenido por la envolvente arquitectónica: las viviendas unifamiliares aisladas y los edificios administrativos son un claro ejemplo al respecto.

Sin embargo, estudiar viviendas parciales de bloques plurifamiliares o locales aislados en un edificio supone enfrentarse con la dificultad de distinguir de manera clara qué infiltraciones proceden del exterior y cuáles provienen de los locales adyacentes (lo que implica

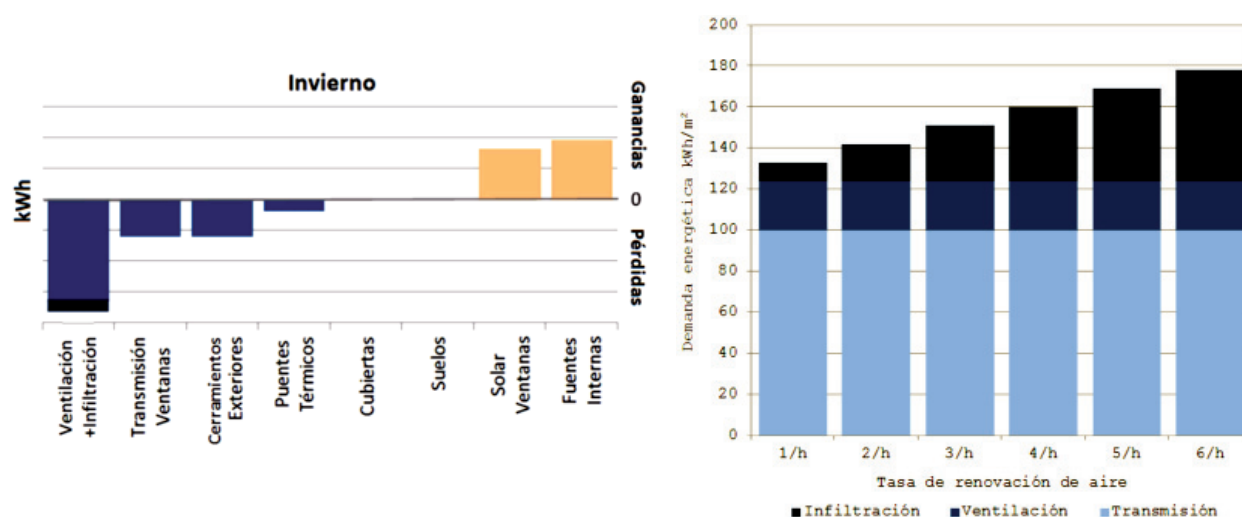
que existen entradas de aire con diferentes condiciones ambientales). Esto se debe a las peculiares características de los muros de partición existentes entre los distintos locales, al desarrollo vertical del cerramiento del edificio y a la interconexión necesaria por las instalaciones comunes.

Hay diversas opciones para individualizar las distintas infiltraciones así presentes: desde presurizar simultáneamente los locales interiores adyacentes produciendo un único gradiente respecto al exterior, hasta realizar ensayos en cada zona. En este último caso habrá que sellar los posibles focos de filtración interior: cajas y mecanismos eléctricos, falsos techos, desagües de saneamiento, etc. (Fig. 09)). Todas estas opciones significan un trabajo más complejo y una posible fuente de acumulación de errores parciales, por lo que la exactitud obtenida disminuye.

Una opción alternativa fiable consiste en recurrir a métodos que utilizan gases trazadores (Fig. 10) para medir los caudales interzonales y las infiltraciones en general. Sin embargo, una fuente importante de errores lo supone la inevitable gran duración de los ensayos, que favorece que cambien las condiciones ambientales respecto al origen de la prueba (y por tanto, el caudal de la entrada de aire incontrolado).

CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto parece claro que ha llegado el momento de abordar un estudio riguroso de las infiltraciones en el conjunto edificado en España,



- 7 Repercusión energética de la ventilación + infiltraciones en invierno a partir de los ensayos realizados en vivienda de la urbanización Zabalgana
- 8 Repercusión energética en invierno de la ventilación+infiltraciones a distintos n_{50} en una misma vivienda

incorporando este concepto en futuras reformas de la normativa vigente.

En la normativa destinada a la obra de nueva construcción, es necesario establecer límites a la tasa de renovación del aire, n_{50} , o a la permeabilidad al aire del conjunto del cerramiento, q_{50} .

De cara a la rehabilitación, es preciso caracterizar el parque edificatorio existente, lo que permitiría fundamentar sobre bases claras el estudio y la mejora energética de los edificios.

A este respecto, deberían impulsarse ensayos de campo de ámbito nacional y regional que clasifiquen las variables que afecten mayoritariamente a los parámetros

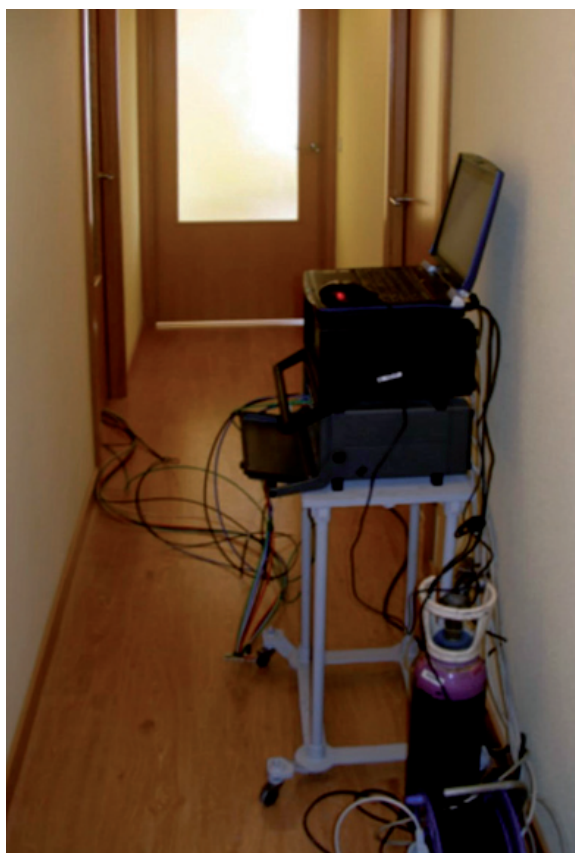
antes mencionados. En concreto, se han demostrado determinantes las siguientes variables⁷:

- Geometría y factor de forma del edificio.
- Año de construcción y antigüedad.
- Tipología.
- Edificios de zona única o múltiple.
- Soluciones constructivas.

En definitiva, el estudio debería culminar con un análisis del ciclo de vida de la intervención, para alcanzar una deseable ponderación entre el costo de mejorar la hermeticidad y el gasto que supone una hermeticidad deficiente, de forma que se consiga la solución más adecuada a cada necesidad.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada por VISESA (Vivienda y Suelo de Euskadi, Sociedad Anónima / Euskadiko Etxebizitza eta Lurra, E.A.) a la hora de permitir la realización de ensayos en su promoción de viviendas sociales Zabalgana 161 (A-36) en Vitoria/Gasteiz (expediente: EB1-0313/07-EP), cuyos arquitectos son Ramón Martínez de Lecea Saracíbar y Juan Adrián Bueno Agero.



9 (Imagen doble arriba) Condiciones de realización del ensayo de presurización por ventilador en vivienda de la urbanización Zabalgana
 10 (Imagen doble abajo) Ensayo con gases trazadores en una vivienda en una vivienda de la urbanización Zabalgana

Notas

1. François R. Carrié y Bernd Rosenthal, «An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness», *Ventilation Information Paper* 29 (2008): 1.
2. Per I. Sandberg et al., «Lufttätethetsfrågorna i byggprocessen» *Etrapp B, Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler, SP Rapport* 2007:23 (2007): 8.
3. Cf. «Airtightness of UK Housing» http://www.leedsmet.ac.uk/teaching/vsite/low_carbon_housing/airtightness/housing/index.htm (con acceso el 01/10/2012); Marianna Papaglastra et al. «International comparison of envelope airtightness measurements», en 3. *Europäisches BlowerDoor-Symposium 'Dichte Gebäudehülle, Thermografie, Wohnungslüftung, Schimmel'*, Kassel (Alemania), 30-31 de mayo de 2008, 3; Minna Korpi, Juha Vinha, Jarek Kurnitski, «Airtightness of single-family houses and apartments», *41 Working Meeting, Lyon (Francia)*, 25-27 de octubre de 2006, 84; Targo Kalamees, «Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia», *Building and Environment* 42 (2007): 2372; Francesca R. d'Ambrosio Alfano et al., «Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method», *Building and Environment* 53 (2012): 21; A. Sfakianaki et al., «Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece», *Building and Environment* 43 (2008): 401.
4. Willem Frederik de Gids, «Influence of different parameters on infiltration and infiltration heat loss» *AIC 2nd Conference 'Building design for minimum air infiltration'*, Estocolmo (Suecia), 21-23 de septiembre de 1981, 75.
5. Max Sherman, «Estimation of infiltration from leakage and climate indicators», *Energy and Buildings* 10 (1987): 83.
6. Eva Sikander et al., *Lufttätethets Handbok: Problem och möjligheter* (Göteborg: Sveriges Byggindustrier, 2007), 11.
7. Max Sherman y Rengie Chan, «Building Airtightness: Research and Practice» en *Lawrence Berkeley National Laboratory Report n° LBNL-53356* (Berkeley, EEUU: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003), 24.

Procedencia de las ilustraciones

Todas las figuras han sido realizadas por los autores para la redacción del presente artículo.

Sobre los autores

Alberto Meiss. Doctor arquitecto y Profesor de Construcciones Arquitectónicas (Acondicionamiento e Instalaciones) en la ETSA de Valladolid e integrante del Grupo de Investigación «Arquitectura & Energía». Ponente en cursos y conferencias en universidades, colegios profesionales y congresos sobre el tema de las instalaciones. Ha escrito artículos en revistas científicas y participado en varios proyectos de investigación nacionales. Su línea de investigación se centra en el tema de la ventilación, la eficiencia de los sistemas de acondicionamiento y la repercusión energética en los edificios (Tesis doctoral: «Estudio de la eficiencia de la ventilación a partir de parámetros de diseño arquitectónico»). Profesor e Investigador del Dep. Construcciones Arquitectónicas (sección Instalaciones) y Responsable del Laboratorio de Ventilación HS3 en la E.T.S. Arquitectura de Valladolid. Profesor e Investigador del Dep. Construcciones Arquitectónicas (sección Instalaciones) y Responsable del Laboratorio de Ventilación HS3 en la E.T.S. Arquitectura de Valladolid.

meiss@arq.uva.es

Jesús Feijó Muñoz. Doctor arquitecto y Catedrático de Construcciones Arquitectónicas (Acondicionamiento e Instalaciones). Director de la ETSA de Valladolid y coordinador del Máster de Investigación en Arquitectura. Director de trece proyectos de I+D+i de organismos públicos. Autor de 65 publicaciones (libros y revistas), participación en 33 congresos y ponente en más de 250 cursos y conferencias en universidades, colegios profesionales y otras instituciones.

feijo@arq.uva.es